

Beschreibung

Verfahren zum Anpassen des Erfassens eines Messsignals einer Abgassonde

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anpassen des Erfassens eines Messsignals einer Abgassonde, die in einer Brennkraftmaschine angeordnet ist mit mehreren Zylindern und den Zylindern zugeordneten Einspritzventilen, die Kraftstoff zu-

10 messen. Die Abgassonde ist in einem Abgastrakt angeordnet und ihr Messsignal ist charakteristisch für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder.

Immer strengere gesetzliche Vorschriften bezüglich zulässiger

15 Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen, in denen Brennkraftmaschinen angeordnet sind, machen es erforderlich, die Schadstoffemissionen beim Betrieb der Brennkraftmaschine so gering wie möglich zu halten. Dies kann zum einen erfolgen, indem die Schadstoffemissionen verringert werden, die während

20 der Verbrennung des Luft/Kraftstoff-Gemisches in dem jeweiligen Zylinder der Brennkraftmaschine entstehen. Zum andern sind in Brennkraftmaschinen Abgasnachbehandlungssysteme im Einsatz, die die Schadstoffemissionen, die während des Verbrennungsprozesses des Luft/Kraftstoff-Gemisches in den

25 jeweiligen Zylindern erzeugt werden, in unschädliche Stoffe umwandeln. Zu diesem Zweck werden Katalysatoren eingesetzt, die Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide in unschädliche Stoffe umwandeln. Sowohl das gezielte Beeinflussen des Erzeugens der Schadstoffemissionen während der Verbren-

30 nung als auch das Umwandeln der Schadstoffkomponenten mit einem hohen Wirkungsgrad durch einen Abgaskatalysator setzen ein sehr präzise eingestelltes Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder voraus.

Aus der DE 199 03 721 C1 ist ein Verfahren für eine mehrzylindrige Brennkraftmaschine zur zylinderselektiven Regelung eines zu verbrennenden Luft/Kraftstoff-Gemisches bekannt, bei dem die Lambdawerte für verschiedene Zylinder oder Zylindergruppen getrennt sensiert und geregelt werden. Dazu ist eine Sonden-Auswerteeinheit vorgesehen, in der eine zeitaufgelöste Auswertung des Abassondensignals erfolgt und so ein zylinderselektiver Lambdawert für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine ermittelt wird. Jedem Zylinder ist ein einzelner Regler zugeordnet, der als PI- oder PID-Regler ausgebildet ist, dessen Regelgröße ein zylinderindividueller Lambdawert ist und dessen Führungsgröße ein zylinderindividueller Sollwert des Lambdas ist. Die Stellgröße des jeweiligen Reglers beeinflusst dann die Einspritzung des Kraftstoffs in dem jeweils zugeordneten Zylinder.

Die Güte der zylinderindividuellen Lambdaregelung hängt maßgeblich davon ab, wie präzise das Messsignal der Abgassonde dem Abgas des jeweiligen Zylinders zugeordnet ist. Während des Betriebs der Abgassonde kann sich deren Ansprechverhalten ändern und somit auch der Grad der Präzision der Zuordnung des Messsignals der Abgassonde zu den Abgasen des jeweiligen Zylinders.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Anpassen des Erfassens eines Messsignals einer Abgassonde zu schaffen, das über eine lange Betriebsdauer ein einfaches und präzises Steuern einer Brennkraftmaschine ermöglicht, in der die Abgassonde anordenbar ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

- 5 Die Erfindung zeichnet sich aus durch ein Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zum Anpassen des Erfassens eines Messsignals einer Abgassonde. Die Abgassonde ist in einer Brennkraftmaschine angeordnet mit mehreren Zylindern und mit den Zylindern zugeordneten Einspritzventilen, die Kraftstoff
- 10 zumessen. Die Abgassonde ist in einem Abgastrakt der Brennkraftmaschine angeordnet und ihr Messsignal ist charakteristisch für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder.
- 15 Zu einem vorgegebenen Kurbelwellenwinkel bezogen auf eine Bezugsposition des Kolbens des jeweiligen Zylinders wird das Messsignal erfasst und dem jeweiligen Zylinder zugeordnet. Mittels jeweils eines Reglers wird eine Stellgröße zum Beeinflussen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses in dem jeweiligen
- 20 Zylinder abhängig von dem für den jeweiligen Zylinder erfassten Messsignal erzeugt. Der vorgegebene Kurbelwellenwinkel wird abhängig von einem Instabilitätskriterium des Reglers angepasst.
- 25 Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass die Regelgüte des Reglers nur dann maßgeblich durch den Kurbelwellenwinkel, bei dem das Messsignal erfasst wird, beeinflusst wird, wenn ein Instabilitätskriterium erfüllt ist, wenn also der Regler instabil arbeitet. Die Erfindung nutzt
- 30 diese Erkenntnis, indem der vorgegebene Kurbelwellenwinkel abhängig von dem Instabilitätskriterium des Regler angepasst wird. Die Anpassung kann sehr einfach sein und gleichzeitig

sehr schnell erfolgen und so auf einfache Weise eine hohe Regelgüte des Reglers gewährleisten.

5 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung hängt das Instabilitätskriterium ab von der oder den Stellgrößen des dem jeweiligen Zylinder zugeordneten Reglers und/oder weiteren Reglern, die anderen Zylindern zugeordnet sind. So kann das Messsignal besonders einfach und schnell angepasst werden.

10

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das Instabilitätskriterium erfüllt, wenn die Stellgröße beziehungsweise die Stellgrößen für eine vorgegebene Zeitdauer gleich ist beziehungsweise sind ihrem Grenz-Maximalwert, auf den sie durch den beziehungsweise die Regler begrenzt wird beziehungsweise werden, oder gleich ist beziehungsweise sind ihrem Grenz-Minimalwert, auf den sie durch den beziehungsweise die Regler begrenzt wird beziehungsweise werden. Dadurch kann einfach erkannt werden, ob die Regelung instabil ist und dann eine entsprechende Anpassung des vorgegebenen Kurbelwellenwinkels erfolgen.

20

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist zum Erfüllen des Instabilitätskriteriums erforderlich, dass alle Stellgrößen für die vorgegebene Zeitdauer gleich sind ihrem Grenz-Maximalwert, auf den sie durch die Regler begrenzt werden oder gleich sind ihrem Grenz-Minimalwert, auf den sie durch die Regler begrenzt werden und dies für die Stellgrößen aller Zylinder gilt. So kann besonders zuverlässig die Instabilität der Regelung erkannt werden und insbesondere verhindert werden, dass ein Komponentenfehler, zum Beispiel der eines Einspritzventils, fehlerhaft auf eine Instabilität der Regelung erkannt wird.

30

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist zum Erfüllen des Instabilitätskriteriums erforderlich, dass bei einer geraden Anzahl an Zylindern die eine Hälfte
5 der Stellgrößen gleich ist dem Grenz-Maximalwert und die andere Hälfte gleich ist dem Grenz-Minimalwert und dass bei einer ungeraden Anzahl an Zylindern eine erste Anzahl an Stellgrößen gleich ist dem Grenz-Maximalwert und eine zweite Anzahl an Stellgrößen gleich ist dem Grenz-Minimalwert, wobei
10 die erste Anzahl sich von der zweiten um eins unterscheidet und die Summe der ersten und zweiten Anzahl gleich ist der ungeraden Anzahl an Zylindern. Dem liegt die Erkenntnis zugrunde, dass dies charakteristisch ist für eine instabile Regelung bei einer geraden Zylinderanzahl und entsprechend
15 bei einer ungeraden Zylinderanzahl.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird auf einen Fehler des Einspritzventils oder eines Stellglieds erkannt, dass ausschließlich die Luftzufuhr zu dem jeweiligen Zylinder beeinflusst, wenn die Stellgröße des jeweiligen Zylinders für eine vorgegebene Zeitdauer gleich ist ihrem Grenz-Maximalwert, auf den sie durch den Regler begrenzt wird, oder gleich ist ihrem Grenz-Minimalwert, auf den sie durch den Regler begrenzt wird, und mindestens eine Stellgröße,
20 ße, die einem anderen Zylinder zugeordnet ist, ungleich ist dem Grenz-Maximalwert oder dem Grenz-Minimalwert. So kann zusätzlich ein Fehler eines Einspritzventils erkannt werden und dann nicht fälschlicherweise der Kurbelwellenwinkel der Erfassung des Messsignals verändert werden.

30

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das Instabilitätskriterium erfüllt, wenn mindestens die einem Zylinder zugeordnete Stellgröße mit einer Amplitude

schwingt, die größer ist als eine vorgegebene Schwellenwert-Amplitude. So kann insbesondere bei einer ungeraden Zylinderanzahl die Instabilität der Regelung sicher erkannt werden.

- 5 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfassen die Regler je einen Beobachter, der eine Zustandsgröße ermittelt abhängig von den erfassten Messsignalen der Abgassonde, wobei eine die Zustandsgröße charakterisierende Größe des Beobachters rückgekoppelt wird und bei dem das In-
- 10 stabilitätskriterium abhängt von einer oder mehreren der Zustandsgrößen. Dadurch kann das Instabilitätskriterium besonderes einfach sein.

- Weitere vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung im Hinblick
- 15 auf die Zustandsgröße oder die Zustandsgrößen entsprechen denen bezogen auf die Stellgröße oder die Stellgrößen und weisen entsprechende Vorteile auf.

- Vorteilhaft ist es ferner, wenn das Anpassen des vorgegebenen
- 20 Kurbelwellenwinkels mit einer Schrittweite erfolgt, die einem vorgegebenen Bruchteil des erwarteten Stabilitätsbereichs der Regelung entspricht. Der Bruchteil wird bevorzugt in etwa $1/5$ des erwarteten Stabilitätsbereichs der Regelung gewählt. So kann das Anpassen des vorgegebenen Kurbelwellenwinkels sehr
- 25 schnell erfolgen und zwar je nach Wahl der Schrittweite und gleichzeitig ist dann ein geringer Rechenaufwand notwendig, da es nur wesentlich ist, dass der Stabilitätsbereich erreicht wird.

- 30 Wenn das Messsignal der Abgassonde charakteristisch ist für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder eines ersten Teils aller Zylinder und eine weitere Abgassonde vorgesehen ist, deren Messsignal charakteristisch ist für das

Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder eines zweiten Teils aller Zylinder, erfolgt vorteilhaft das Anpassen des Erfassens des Messsignals der Abgassonde und der weiteren Abgassonde getrennt und jeweils bezogen auf den ersten
5 Teil beziehungsweise den zweiten Teil aller Zylinder.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im folgenden anhand der schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

- 10 Figur 1 eine Brennkraftmaschine mit einer Steuereinrichtung,
Figur 2 ein Blockschaltbild der Steuereinrichtung,
Figur 3 ein erstes Ablaufdiagramm eines Programms zum Anpassen des Erfassens eines Messsignals einer Abgassonde,
Figur 4 ein weiteres Programm zum Anpassen des Erfassens des
15 Messsignals der Abgassonde und
Figur 5 noch ein weiteres Ablaufdiagramm eines Programms zum Anpassen des Erfassens des Messsignals der Abgassonde.
- 20 Elemente gleicher Konstruktion und Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Eine Brennkraftmaschine (Figur 1) umfasst einen Ansaugtrakt 1, einen Motorblock 2, einen Zylinderkopf 3 und einen Abgas-
25 trakt 4. Der Ansaugtrakt 1 umfasst vorzugsweise eine Drosselklappe 11, ferner einen Sammler 12 und ein Saugrohr 13, das hin zu einem Zylinder Z1 über einen Einlasskanal in den Motorblock 2 geführt ist. Der Motorblock 2 umfasst ferner eine Kurbelwelle 21, welche über eine Pleuelstange 25 mit dem Kol-
30 ben 24 des Zylinders Z1 gekoppelt ist.

Der Zylinderkopf 3 umfasst einen Ventiltrieb mit einem Gas-einlassventil 30, einem Gasauslassventil 31 und Ventilantrie-

ben 32, 33. Der Zylinderkopf 3 umfasst ferner ein Einspritzventil 34 und eine Zündkerze 35. Alternativ kann das Einspritzventil auch in dem Ansaugkanal angeordnet sein.

- 5 Der Abgastrakt 4 umfasst einen Katalysator 40, der bevorzugt als Dreiwegekatalysator ausgebildet ist. Von dem Abgastrakt 4 kann eine Abgasrückführleitung hin zum Ansaugtrakt 1, insbesondere hin zum Sammler 12 geführt sein.
- 10 Ferner ist eine Steuereinrichtung 6 vorgesehen, der Sensoren zugeordnet sind, die verschiedene Messgrößen erfassen und jeweils den Messwert der Messgröße ermitteln. Die Steuereinrichtung 6 steuert abhängig von mindestens einer der Messgrößen die Stellglieder mittels entsprechender Stellantriebe an.
- 15 Die Sensoren sind ein Pedalstellungsgeber 71, welcher die Stellung eines Fahrpedals 7 erfasst, ein Luftmassenmesser 14, welcher einen Luftmassenstrom stromaufwärts der Drosselklappe 11 erfasst, ein Temperatursensor 15, welcher die Ansauglufttemperatur erfasst, ein Drucksensor 16, welcher den Saugrohrdruck erfasst, ein Kurbelwellenwinkelsensor 22, welcher einen Kurbelwellenwinkel erfasst, dem dann eine Drehzahl N zugeordnet wird, ein weiterer Temperatursensor 23, welcher eine Kühlmitteltemperatur erfasst, ein Nockenwellenwinkelsensor 25 36a, welcher den Nockenwellenwinkel erfasst und eine Abgassonde 41 welche einen Restsauerstoffgehalt des Abgases erfasst und deren Messsignal charakteristisch ist für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem Zylinder Z1. Die Abgassonde 41 ist bevorzugt als lineare Lambdasonde ausgebildet und erzeugt so über einen weiten Bereich des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses ein zu diesem proportionales Messsignal.
- 30

Je nach Ausführungsform der Erfindung kann eine beliebige Untermenge der genannten Sensoren oder auch zusätzliche Sensoren vorhanden sein.

- 5 Die Stellglieder sind beispielsweise die Drosselklappe 11, die Gaseinlass- und Gasauslassventile 30, 31, das Einspritzventil 34 oder die Zündkerze 35.

Neben dem Zylinder Z1 sind auch noch weitere Zylinder Z2-Z4
10 vorgesehen, denen dann auch entsprechende Stellglieder zugeordnet sind. Bevorzugt ist jeder Abgasbank an Zylindern eine Abgassonde zugeordnet. So kann die Brennkraftmaschine beispielsweise sechs Zylinder umfassen, wobei jeweils drei Zylinder einer Abgasbank und dementsprechend je einer Abgassonde
15 de 41 zugeordnet sind.

Ein Blockschaltbild von Teilen der Steuereinrichtung 6, die auch als Vorrichtung zum Steuern der Brennkraftmaschine bezeichnet werden kann, ist anhand der Figur 2 dargestellt.

20

Ein Block B1 entspricht der Brennkraftmaschine. Einem Block B2 wird ein von der Abgassonde 41 erfasstes Luft/Kraftstoff-Verhältnis LAM_RAW zugeleitet. Zu jeweils vorgegebenen Kurbelwellenwinkeln CRK_SAMP bezogen auf eine Bezugsposition des
25 jeweiligen Kolbens des jeweiligen Zylinders Z1 bis Z4 erfolgt dann in dem Block B2 eine Zuordnung des in diesem Zeitpunkt jeweils aktuellen erfassten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, das aus dem Messsignal der Abgassonde 41 abgeleitet wird, zu dem jeweiligen Luft/Kraftstoff-Verhältnis des jeweiligen Zylinders Z1 bis Z4 und so wird das zylinderindividuell erfasste
30 te Luft/Kraftstoff-Verhältnis LAM_I [Z1-Z4] zugeordnet.

Die Bezugsposition des jeweiligen Kolbens 24 ist bevorzugt sein oberer Totpunkt. Der vorgegebene Kurbelwellenwinkel CRK_SAMP ist beispielsweise für eine erste Inbetriebnahme der Brennkraftmaschine fest appliziert und wird im folgenden anhand der weiter unten beschriebenen Programme gegebenenfalls angepasst.

In einem Block B2a wird ein mittleres Luft/Kraftstoff-Verhältnis LAM_MW durch Mittelung der zylinderindividuell erfassten Luft/Kraftstoff-Verhältnisse LAM_I [Z1-Z4] ermittelt. Ferner wird in dem Block B2a ein Istwert D_LAM_I [Z1] einer zylinderindividuellen Luft/Kraftstoff-Verhältnis Abweichung aus der Differenz des mittleren Luft/Kraftstoff-Verhältnisses LAM_MW und des zylinderindividuell erfassten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses LAM_I [Z1] ermittelt. Diese wird dann einem Regler zugeführt, der durch den Block B3a gebildet ist.

In einer Summierstelle S1 für die Differenz des Istwertes D_LAM_I [Z1] und eines Schätzwertes D_LAM_I_EST [Z1] der zylinderindividuellen Luft/Kraftstoff-Verhältnis Abweichung ermittelt und dann einem Block B3 zugeordnet, der Teil eines Beobachters ist und ein Integrierglied umfasst, das die an seinem Eingang anliegende Größe integriert. Das I-Glied des Blocks B3 stellt dann an seinem Ausgang einen ersten Schätzwert EST1 [Z1] zur Verfügung. Der erste Schätzwert EST1 [Z1] wird in dem Integrationsglied des Block B3 auf einen Grenz-Minimalwert MINV1 und einen Grenz-Maximalwert MAXV1 begrenzt, die bevorzugt fest vorgegeben sind.

Der erste Schätzwert EST1[Z1] wird dann zum einen einem auch Bestandteil des Beobachters bildenden Verzögerungsglied zugeführt, das in dem Block B4 ausgebildet ist. Das Verzögerungsglied ist bevorzugt als PT1-Glied ausgebildet. Gegebenenfalls

werden dem Verzögerungsglied auch noch die jeweils ersten Schätzwerte $EST1[Z2-Z4]$ bezogen auf die weiteren Zylinder $[Z2-Z4]$ zugeführt. Der erste Schätzwert $EST1[Z1]$ bildet eine Zustandsgröße des Beobachters.

5

Der erste Schätzwert $EST1[Z1]$ wird ferner einem Block B5 zugeführt, in dem ein weiteres Integratorglied ausgebildet ist, das den ersten Schätzwert $EST1[Z1]$ integriert und als Stellgröße des Reglers dann an seinem Ausgang einen zylinderindividuellen Lambdaregelfaktor $LAM_FAC_I [Z1]$ erzeugt. In dem I-Glied des Blockes B5 wird der zylinderindividuelle Lambdaregelfaktor $LAM_FAC_I [Z1]$ auf ein Grenz-Maximalwert $MAXV2$ und eine Grenz-Minimalwert $MINV2$ begrenzt.

15 In einem Block B6 wird abhängig von dem zylinderindividuellen Lambdaregelfaktor $LAM_FAC_I [Z1]$ ein zweiter Schätzwert $EST2 [Z1]$ ermittelt. Dies erfolgt besonders einfach durch Gleichsetzen des zweiten Schätzwertes $EST2 [Z1]$ mit dem zylinderindividuellen Lambdaregelfaktor $LAM_FAC_I [Z1]$. In der Summierstelle S2 wird dann die Differenz des über das Verzögerungsglied des Blockes B4 gefilterten ersten Schätzwertes $EST1 [Z1]$ und des zweiten Schätzwertes $EST2 [Z1]$ gebildet und als Schätzwert $D_LAM_I_EST [Z1]$ der zylinderindividuellen Luft/Kraftstoff-Verhältnisabweichung zur Summierstelle S1 zurückgeführt und hier von dem Istwert $D_LAM_I [Z1]$ der jeweiligen zylinderindividuellen Luft/Kraftstoff-Verhältnisabweichung subtrahiert und so rückgekoppelt und dann wieder dem Block B3 eingespeist.

30 In einem Block B8 ist ein Lambdaregler vorgesehen, dessen Führungsgröße ein für alle Zylinder der Brennkraftmaschine vorgegebenes Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist und dessen Regelgröße das mittlere Luft/Kraftstoff-Verhältnis LAM_MW ist. Die

Stellgröße des Lambdareglers ist ein Lambdaregelfaktor LAM_FAC_ALL. Der Lambdaregler hat somit die Aufgabe, dass betrachtet über alle Zylinder Z1 bis Z4 der Brennkraftmaschine das vorgegebene Luft/Kraftstoff-Verhältnis eingestellt wird.

5

Alternativ kann dies auch dadurch erreicht werden, dass in dem Block B2 der Istwert D_LAM_I der zylinderindividuellen Luft/Kraftstoff-Verhältnis Abweichung aus der Differenz des für alle Zylinder Z1 bis Z4 der Brennkraftmaschine vorgegebenen Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und des zylinderindividuellen Luft/Kraftstoff-Verhältnisses LAM_I[Z1-Z4] ermittelt wird. In diesem Fall kann dann der dritte Regler des Blocks B8 entfallen.

15 In einem Block B9 wird eine zuzumessende Kraftstoffmasse MFF abhängig von einem Luftmassenstrom MAF in den jeweiligen Zylinder Z1 bis Z4 und gegebenenfalls der Drehzahl N und einem Sollwert LAM_SP des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses für alle Zylinder Z1-Z4 ermittelt.

20

In der Multiplizierstelle M1 wird eine korrigierte zuzumessende Kraftstoffmasse MFF_COR durch Multiplizieren der zuzumessenden Kraftstoffmasse MFF, des Lambdaregelfaktors LAM_FAC_ALL und des zylinderindividuellen Lambdaregelfaktors LAM_FAC_I[Z1] ermittelt. Abhängig von der korrigierten zuzumessenden Kraftstoffmasse MFF_COR wird dann ein Stellsignal erzeugt, mit dem das jeweilige Einspritzventil 34 angesteuert wird.

30 Neben der in dem Blockschaltbild der Figur 2 dargestellten Reglerstruktur sind für jeden weiteren Zylinder Z1 bis Z4 entsprechende Reglerstrukturen B_Z2 bis B_Z4 für die jeweiligen weiteren Zylinder Z2 bis Z4 vorgesehen.

Alternativ kann in dem Block B5 auch ein Proportionalglied ausgebildet sein.

- 5 Ein Programm zum Anpassen des Erfassens des Messsignals der Abgassonde 41 wird in einem Schritt S1, bevorzugt zeitnah zum Start der Brennkraftmaschine, gestartet. In dem Schritt S1 werden gegebenenfalls Variablen initialisiert (Fig. 3).
- 10 In einem Schritt S2 wird geprüft, ob der zylinderindividuelle Lamdaregelfaktor $LAM_FAC_I [Z1]$, der dem Zylinder Z1 zugeordnet ist, gleich ist dem Grenz-Maximalwert $MAXV2$ oder einem Grenz-Minimalwert $MINV2$ und zwar für eine vorgegebene Zeitdauer, so zum Beispiel fünf bis zehn Sekunden, oder ob die
- 15 Amplitude AMP des zylinderindividuellen Lamdaregelfaktors $LAM_FAC_I [Z1]$, der dem Zylinder Z1 zugeordnet ist, eine vorgegebene Schwellenwert-Amplitude AMP_THR überschreitet. Ist dies nicht der Fall, so gilt ein Instabilitätskriterium als nicht erfüllt und die Bearbeitung wird in einem Schritt S4
- 20 fortgesetzt, in dem das Programm für eine vorgegebene Wartezeitdauer T_W unterbrochen wird, bevor die Bedingung des Schrittes S2 erneut geprüft wird.

- Ist die Bedingung des Schrittes S2 hingegen erfüllt, so gilt
- 25 das Instabilitätskriterium als erfüllt und der vorgegebene Kurbelwellenwinkel CRK_SAMP bezogen auf die Bezugsposition des Kolbens 24 des jeweiligen Zylinders Z1 bis Z4, bei dem das Messsignal der Abgassonde 41 erfasst wird und dem jeweiligen Zylinder zugeordnet wird, wird in dem Schritt S6 angepasst, bevorzugt dadurch, dass der vorgegebene Kurbelwellen-
- 30 winkel CRK_SAMP um einen vorgegebenen Veränderungswinkel D entweder erhöht oder erniedrigt wird. Der Veränderungswinkel D ist bevorzugt ein vorgegebener Bruchteil des erwarteten

Kurbelwellenwinkelbereichs, innerhalb der die Regelung stabil ist. Dieser erwartete Kurbelwellenwinkelbereich ist bevorzugt durch Versuche ermittelt und zwar für den Neuzustand der Brennkraftmaschine. Er kann bei einer vierzylindrigen Brennkraftmaschine beispielsweise 180° Kurbelwellenwinkel betragen. Der Veränderungswinkel D ist bevorzugt bezogen auf den Kurbelwellenwinkelbereich großer Winkel und beträgt beispielsweise 20 % des Kurbelwellenwinkelbereichs also zum Beispiel in etwa 40° Kurbelwellenwinkel. Die Richtung der Anpassung des vorgegebenen Kurbelwellenwinkels CRK_SAMP wird bevorzugt durch zwei oder mehrere aufeinanderfolgende Durchläufe der Schritte S2 und S6 unter Einbeziehung des Startzustandes, also des Instabilitätskriteriums, mit unterschiedlichen Vorzeichen des Veränderungswinkels D ermittelt.

Durch die bevorzugt große Schrittweite der Anpassung des vorgegebenen Kurbelwellenwinkels CRK_SAMP aufgrund des großen Veränderungswinkels D kann innerhalb sehr weniger Durchläufe der Schritte S2 und S6 der stabile Bereich der Regelung gefunden werden, der dadurch gekennzeichnet ist, dass das Instabilitätskriterium des Schrittes S2 nicht erfüllt ist.

Aufgrund der Erkenntnis, dass die Güte der Regelung innerhalb des Stabilitätsbereichs annähernd gleich ist kann ein rechen- und zeitaufwendiges Suchen eines Optimums der Güte der Regelung verzichtet werden und so sehr schnell eine Regelung mit sehr hoher Güte eingestellt werden.

Eine zweite Ausführungsform eines Programms zum Anpassen des Erfassens des Messsignals der Abgassonde 41 ist anhand der Figur 4 dargestellt. Das Programm wird in einem Schritt S10 gestartet, in dem gegebenenfalls Variablen initialisiert werden. Es wird beispielhaft für eine Brennkraftmaschine be-

schrieben, bei der drei Zylinder Z1-Z3 einer Abgassonde 41 zugeordnet sind. Dies kann zum Beispiel der Fall sein bei einer Brennkraftmaschine mit drei Zylindern Z1-Z3 oder auch bei einer Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern, bei der jeweils die Abgaskanäle von drei Zylindern Z1-Z3 hin zu je einer Abgassonde 41 geführt sind. Bei einer derartigen Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern wird dann für je drei Zylinder einmal parallel das Programm gemäß der folgenden Schritte abgearbeitet. Das Programm ist jedoch auch geeignet zur Durchführung, wenn der jeweiligen Abgassonde 41 eine andere Anzahl an Zylindern zugeordnet sind, wobei dann die Bedingungen entsprechend dieser Anzahl angepasst sind.

In dem Schritt S12 werden die zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1], LAM_FAC_I [Z2], LAM_FAC_I [Z3], die den Zylindern Z1 bis Z3 zugeordnet sind, daraufhin geprüft, ob sie für die vorgegebene Zeitdauer den Grenz-Maximalwert MAXV2 oder den Grenz-Minimalwert MINV2 einnehmen oder ihr zeitlicher Verlauf mit einer Amplitude AMP schwingt, die größer ist als die vorgegebene Schwellenwert-Amplitude AMP_THR.

In einer einfachen Ausgestaltung des Schrittes S12 kann die Amplitude AMP jeweils auch dadurch bestimmt werden, dass die während der vorgegebenen Zeitdauer auftretenden maximalen und minimalen Werte des zeitlichen Verlaufs des zylinderindividuellen Lambdaregelfaktors LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] erfasst werden und deren Differenz gleichgesetzt wird mit der Amplitude AMP.

In einem Schritt S14 wird anschließend geprüft, ob die Anzahl der zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3], die in dem Schritt S12 dahingehend erfasst wurden, dass sie für die vorgegebenen Zeitdauer gleich waren dem

Grenz-Maximalwert MAXV2 oder dem Grenz-Minimalwert MINV2 größer null ist und gleichzeitig deren Anzahl kleiner drei ist.

Ist dies der Fall, so wird in einem Schritt S16 auf einen Fehler einer Komponente erkannt. Diese Komponente kann das jeweilige Einspritzventil 34 des oder der Zylinder Z1-Z3 sein, deren zylinderindividueller Lambdaregelfaktor LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] für die vorgegebene Zeitdauer den Grenz-Maximalwert MAXV2 oder den Grenz-Minimalwert MINV2 eingenommen hat. Dies beruht auf der Erkenntnis, dass wenn nicht alle zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] die je einer Abgassonde 41 zugeordnet sind, sondern nur ein Teil von ihnen den Grenz-Maximalwert MAXV2 oder den Grenz-Minimalwert MINV2 einnimmt, dies nicht auf eine Instabilität der Regelung zurückzuführen ist, sondern auf einen Fehler in einer Komponente. Die Komponente kann das jeweilige Einspritzventil 34 sein oder auch ein Stellglied, das ausschließlich die Luftzufuhr zu dem jeweiligen Zylinder Z1-Z3 beeinflusst. Ein derartiges Stellglied kann beispielsweise das Einlassventil 30 oder auch ein sogenanntes Impulsladeventil sein.

In dem Schritt S16 kann dann beispielsweise ein Notlauf der Brennkraftmaschine gesteuert werden oder gegebenenfalls auch Maßnahmen zum Beheben des Fehlers der Komponenten eingeleitet werden. Im Anschluss an den Schritt S16 wird die Bearbeitung in dem Schritt S18 fortgesetzt, in dem das Programm für die vorgegebene Wartezeitdauer T_W unterbrochen wird bevor die Bearbeitung erneut in dem Schritt S12 fortgesetzt wird.

30

Ist die Bedingung des Schrittes S14 hingegen nicht erfüllt, so wird in einem Schritt S20 ein Instabilitätskriterium geprüft. Es wird in dem Schritt S20 geprüft, ob die Anzahl ANZ

der zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3], die für die vorgegebene Zeitdauer in dem Schritt S12 den Grenz-Maximalwert MAXV2 eingenommen haben, gleich zwei ist und die entsprechende Anzahl derjenigen, die den Grenz-Minimalwert MINV2 eingenommen haben gleich eins ist oder die Anzahl ANZ derjenigen, die den Grenz-Maximalwert MAXV2 eingenommen haben gleich eins ist und die Anzahl derjenigen, die den Grenzwert-Minimalwert MINV2 eingenommen haben gleich zwei ist oder die Anzahl derjenigen zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3], deren Amplitude AMP größer ist als die Schwellenwert-Amplitude AMP_THR, größer null ist.

Ist die Bedingung des Schrittes S20 und mithin des Instabilitätskriteriums nicht erfüllt, so wird die Bearbeitung in dem Schritt S18 fortgesetzt.

Der Bedingung des Schrittes S20 liegt die Erkenntnis zugrunde, dass im Falle einer Instabilität der Regelung bei einer ungeraden Zahl an Zylindern alle zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] entweder den Grenz-Maximalwert MAXV2 oder den Grenz-Minimalwert MINV2 einnehmen und darüber hinaus ein Teil den Grenz-Minimalwert MINV2 und der andere Teil den Grenz-Maximalwert MAXV2 einnehmen wobei sich die Anzahl derer, die den Grenz-Maximalwert MAXV2 einnehmen, nur um eins von der Anzahl unterscheidet, die den Grenz-Minimalwert MINV2 einnehmen. Bei einer geraden Zylinderanzahl ist in diesem Fall genau die eine Hälfte der zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] gleich dem Grenz-Maximalwert MAXV2 und die andere Hälfte gleich dem Grenz-Minimalwert MINV2. Untersuchungen haben gezeigt, dass insbesondere bei einer ungeraden Zylinderanzahl auch dann eine Instabilität der Regelung vorliegt, wenn die Amplitude AMP der Schwingung des Verlaufs der jeweiligen zy-

linderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] größer ist als die vorgegebene Schwellwert-Amplitude AMP_THR, die bevorzugt in etwa zwei Drittel der Differenz des Grenz-Maximalwertes MAXV2 und des Grenz-Minimalwertes MINV2 entspricht.

Ist die Bedingung des Schrittes S20 erfüllt, so wird in einem Schritt S22 der vorgegebene Kurbelwellenwinkel CRK_SAMP entsprechend dem Schritt S6 angepasst. Im Anschluss an den Schritt S22 wird die Bearbeitung des Programms in dem Schritt S18 fortgesetzt.

Eine weitere Ausführungsform des Programms zum Anpassen des Erfassens des Messsignals der Abgassonde 41 wird im folgenden anhand der Figur 5 beschrieben, wobei nur die Unterschiede zu der Ausführungsform gemäß Figur 4 erläutert werden. Das Programm wird in einem Schritt S30 gestartet. Anschließend erfolgt die Bearbeitung eines Schrittes S32, der analog ist zu dem Schritt S12. Im Unterschied zu dem Schritt S12 werden hier die zeitlichen Verläufe des jeweiligen ersten Schätzwertes EST1 [Z1 bis Z3] des dem jeweiligen Zylinder Z1 bis Z4 zugeordneten Reglers dahingehend untersucht, ob sie für die vorgegebene Zeitdauer den Grenz-Maximalwert MAXV1 oder den Grenz-Minimalwert MINV1 einnehmen oder ob ihr zeitlicher Verlauf mit einer Amplitude AMP schwingt, die größer ist als Schwellenwert-Amplitude AMP_THR.

Alternativ kann in dem Schritt S32 auch statt des jeweiligen ersten Schätzwertes EST1 der mittels des Blocks B4 gefilterte erste Schätzwert EST1 untersucht werden.

Die Schritte S34 und S40 entsprechend analog den Schritten S14 beziehungsweise S20 mit der Maßgabe, dass hier die Bedin-

gungen statt auf die zylinderindividuellen Lambdaregelfaktoren LAM_FAC_I [Z1 bis Z3] auf die jeweiligen ersten Schätzwerte EST1 [Z1 bis Z3] bezogen sind. Die Schritte S36, S38 und S42 entsprechen den Schritten S16, S18 und S22.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Anpassen des Erfassens eines Messsignals einer Abgassonde (41), die in einer Brennkraftmaschine angeordnet ist mit mehreren Zylindern (Z1 bis Z4) und den Zylindern (Z1 bis Z4) zugeordneten Einspritzventilen (34), die Kraftstoff zumessen, wobei die Abgassonde (41) in einem Abgastrakt angeordnet ist und ihr Messsignal charakteristisch ist für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder, bei dem
- zu einem vorgegebenen Kurbelwellenwinkel (CRK_SAMP) bezogen auf eine Bezugsposition des Kolbens (24) des jeweiligen Zylinders (Z1 bis Z4) das Messsignal erfasst wird und dem jeweiligen Zylinder (Z1 bis Z4) zugeordnet wird,
 - mittels jeweils eines Reglers eine Stellgröße zum Beeinflussen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses in dem jeweiligen Zylinder (Z1 bis Z4) abhängig von dem für den jeweiligen Zylinder (Z1 bis Z4) erfassten Messsignal erzeugt wird und
 - der vorgegebene Kurbelwellenwinkel (CRK_SAMP) abhängig von einem Instabilitätskriterium des Reglers angepasst wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Instabilitätskriterium abhängt von der oder den Stellgrößen des dem jeweiligen Zylinder (Z1 bis Z4) zugeordneten Reglers und/oder weiteren Reglern, die anderen Zylindern (Z1 bis Z4) zugeordnet sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Instabilitätskriterium erfüllt ist, wenn die Stellgröße beziehungsweise die Stellgrößen für eine vorgegebene Zeitdauer gleich ist beziehungsweise sind ihrem Grenz-Maximalwert (MAXV2), auf den sie durch den beziehungsweise die Regler begrenzt wird beziehungsweise werden, oder gleich ist beziehungsweise sind ihrem

Grenz-Minimalwert (MINV2), auf den sie durch den beziehungsweise die Regler begrenzt wird beziehungsweise werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem zum Erfüllen des Instabilitätskriteriums erforderlich ist, dass alle Stellgrößen für die vorgegebene Zeitdauer gleich sind ihrem Grenz-Maximalwert (MAXV2), auf den sie durch die Regler begrenzt werden, oder gleich sind ihrem Grenz-Minimalwert (MINV2), auf den sie durch die Regler begrenzt werden, und dies für die Stellgrößen aller Zylinder gilt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem zum Erfüllen des Instabilitätskriteriums erforderlich ist, dass bei einer geraden Anzahl an Zylindern (Z1 bis Z4) die einen Hälfte der Stellgrößen gleich ist dem Grenz-Maximalwert (MAXV2) und die andere Hälfte gleich ist dem Grenz-Minimalwert (MINV2) und dass bei einer ungeraden Anzahl an Zylindern (Z1 bis Z4) eine erste Anzahl an Stellgrößen gleich ist dem Grenz-Maximalwert (MAXV2) und eine zweite Anzahl an Stellgrößen gleich ist dem Grenz-Minimalwert (MINV2), wobei die erste Anzahl sich von der zweiten Anzahl um eins unterscheidet und die Summe der ersten und der zweiten Anzahl gleich ist der ungeraden Anzahl an Zylindern.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, bei dem auf einen Fehler (ERR) des Einspritzventils (34) oder eines Stellglieds erkannt wird, das ausschließlich die Luftzufuhr zu dem jeweiligen Zylinder (Z1 bis Z4) beeinflusst, wenn die Stellgröße des jeweiligen Zylinders (Z1 bis Z4) für eine vorgegebene Zeitdauer gleich ist ihrem Grenz-Maximalwert (MAXV2), auf den sie durch den Regler begrenzt wird oder gleich ist ihrem Grenz-Minimalwert (MINV2), auf den sie durch den Regler begrenzt wird und mindestens eine Stellgröße, die

einem anderen Zylinder (Z1 bis Z4) zugeordnet ist, ungleich ist dem Grenz-Maximalwert (MAXV2) oder dem Grenz-Minimalwert (MINV2).

- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, bei dem das Instabilitätskriterium erfüllt ist, wenn mindestens die einem Zylinder (Z1 bis Z4) zugeordnete Stellgröße mit einer Amplitude (AMP) schwingt, die größer ist als eine vorgegebene Schwellenwert-Amplitude (AMP_THR).

10

8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Regler je einen Beobachter umfassen, der eine Zustandsgröße ermittelt abhängig von dem erfassten Messsignal der Abgassonde (41), wobei eine die Zustandsgröße charakterisierende Größe des Beobachters rückgekoppelt wird, und bei dem das Instabilitätskriterium
15 abhängt von einer oder mehreren der Zustandsgrößen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem das Instabilitätskriterium erfüllt ist, wenn die Zustandsgröße beziehungsweise die
20 Zustandsgrößen für eine vorgegebene Zeitdauer gleich ist beziehungsweise sind ihrem Grenz-Maximalwert (MAXV1), auf den sie durch den beziehungsweise die Regler begrenzt wird beziehungsweise werden, oder gleich ist beziehungsweise sind ihrem Grenz-Minimalwert (MINV1), auf den sie durch den beziehungsweise die Regler begrenzt wird beziehungsweise werden.
25

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem zum Erfüllen des Instabilitätskriteriums erforderlich ist, dass alle Zustandsgrößen für die vorgegebene Zeitdauer gleich sind ihrem Grenz-
30 Maximalwert (MAXV1), auf den sie durch die Regler begrenzt werden, oder gleich sind ihrem Grenz-Minimalwert (MINV1), auf den sie durch die Regler begrenzt werden, und dies für die Zustandsgrößen aller Zylinder gilt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem zum Erfüllen des Instabilitätskriteriums erforderlich ist, dass bei einer geraden Anzahl an Zylindern (Z1 bis Z4) die eine Hälfte der Zustandsgrößen gleich ist dem Grenz-Maximalwert (MAXV1) und die andere Hälfte gleich ist dem Grenz-Minimalwert (MINV1) und dass bei einer ungeraden Anzahl an Zylindern (Z1 bis Z4) eine erste Anzahl an Zustandsgrößen gleich ist dem Grenz-Maximalwert (MAXV1) und eine zweite Anzahl an Zustandsgrößen gleich ist dem Grenz-Minimalwert (MINV1), wobei die erste Anzahl sich von der zweiten Anzahl um eins unterscheidet und die Summe der ersten und der zweiten Anzahl gleich ist der ungeraden Anzahl an Zylindern.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, bei dem auf einen Fehler (ERR) des Einspritzventils (34) oder eines Stellglieds erkannt wird, das ausschließlich die Luftzufuhr zu dem jeweiligen Zylinder (Z1 bis Z4) beeinflusst, wenn die Zustandsgröße des jeweiligen Zylinders (Z1 bis Z4) für die vorgegebene Zeitdauer gleich ist ihrem Grenz-Maximalwert (MAXV1), auf den sie durch den Regler begrenzt wird oder gleich ist ihrem Grenz-Minimalwert (MINV1), auf den sie durch den Regler begrenzt wird und mindestens eine Zustandsgröße, die einem anderen Zylinder (Z1 bis Z4) zugeordnet ist, ungleich ist dem Grenz-Maximalwert (MAXV1) oder dem Grenz-Minimalwert (MINV1).

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, bei dem das Instabilitätskriterium erfüllt ist, wenn mindestens die einem Zylinder (Z1 bis Z4) zugeordnete Zustandsgröße mit einer Amplitude (AMP) schwingt, die größer ist als eine vorgegebene Schwellenwert-Amplitude (AMP_THR).

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Anpassen des vorgegebenen Kurbelwellenwinkels (CRK_SAMP) mit einer Schrittweite erfolgt, die einem vorgegebenen Bruchteil des erwarteten Stabilitätsbereichs entspricht.

5

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem Bruchteil in etwa $1/5$ des erwarteten Stabilitätsbereichs entspricht.

16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem
10 das Messsignal der Abgassonde(41) charakteristisch ist für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem jeweiligen Zylinder (Z1-Z4) eines ersten Teils aller Zylinder (Z1-Z4) und bei dem eine weitere Abgassonde vorgesehen ist, deren Messsignal charakteristisch ist für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem
15 jeweiligen Zylinder (Z1-Z4) eines zweiten Teils aller Zylinder (Z1-Z4) und bei dem dann das Anpassen des Erfassens des Messsignals der Abgassonde (41) und der weiteren Abgassonde getrennt und jeweils bezogen auf den ersten Teil und den zweiten Teil aller Zylinder (Z1-Z4) erfolgt.

20

FIG 1

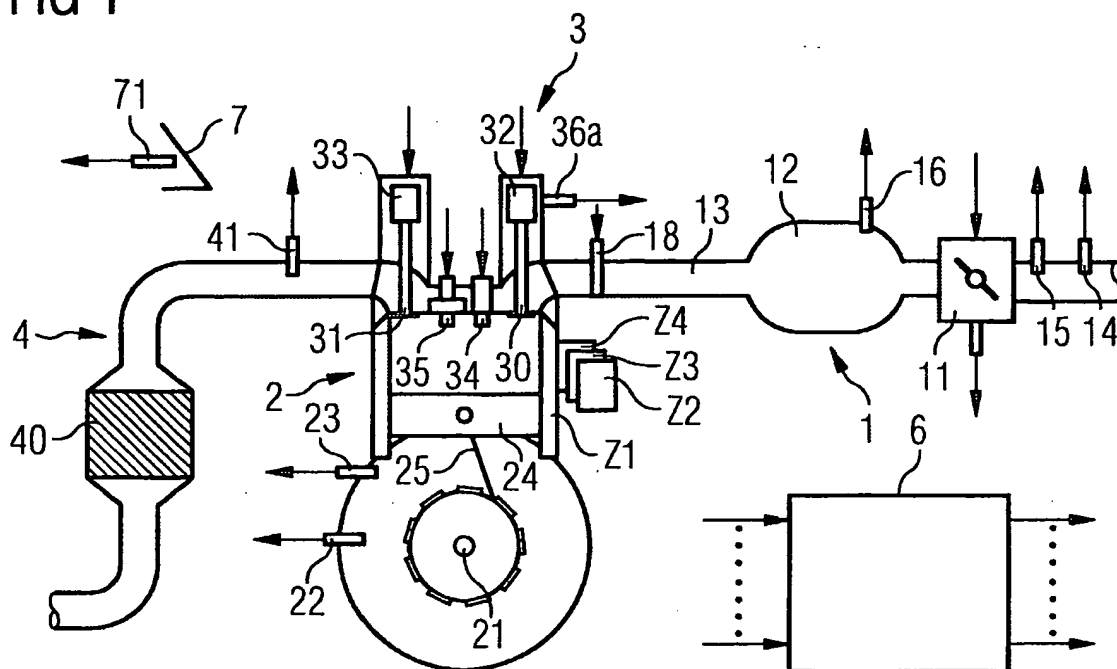


FIG 2

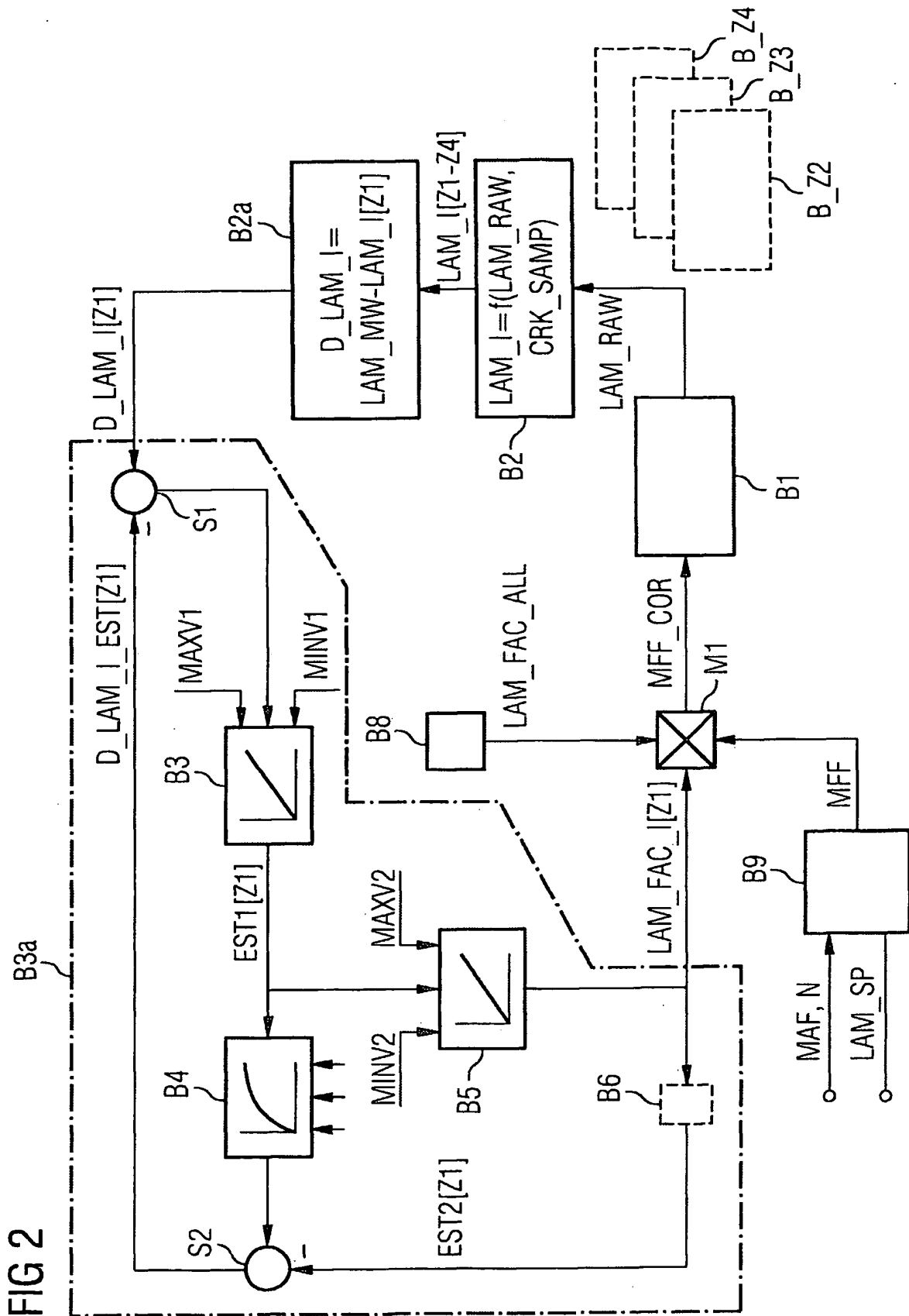


FIG 3

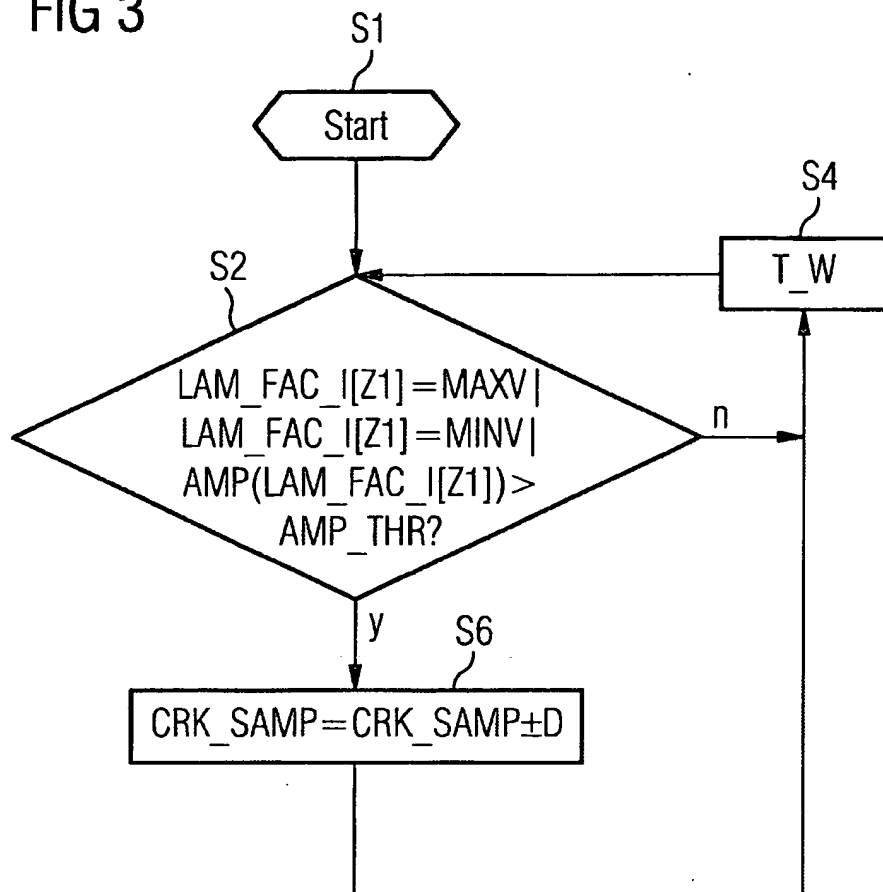


FIG 4

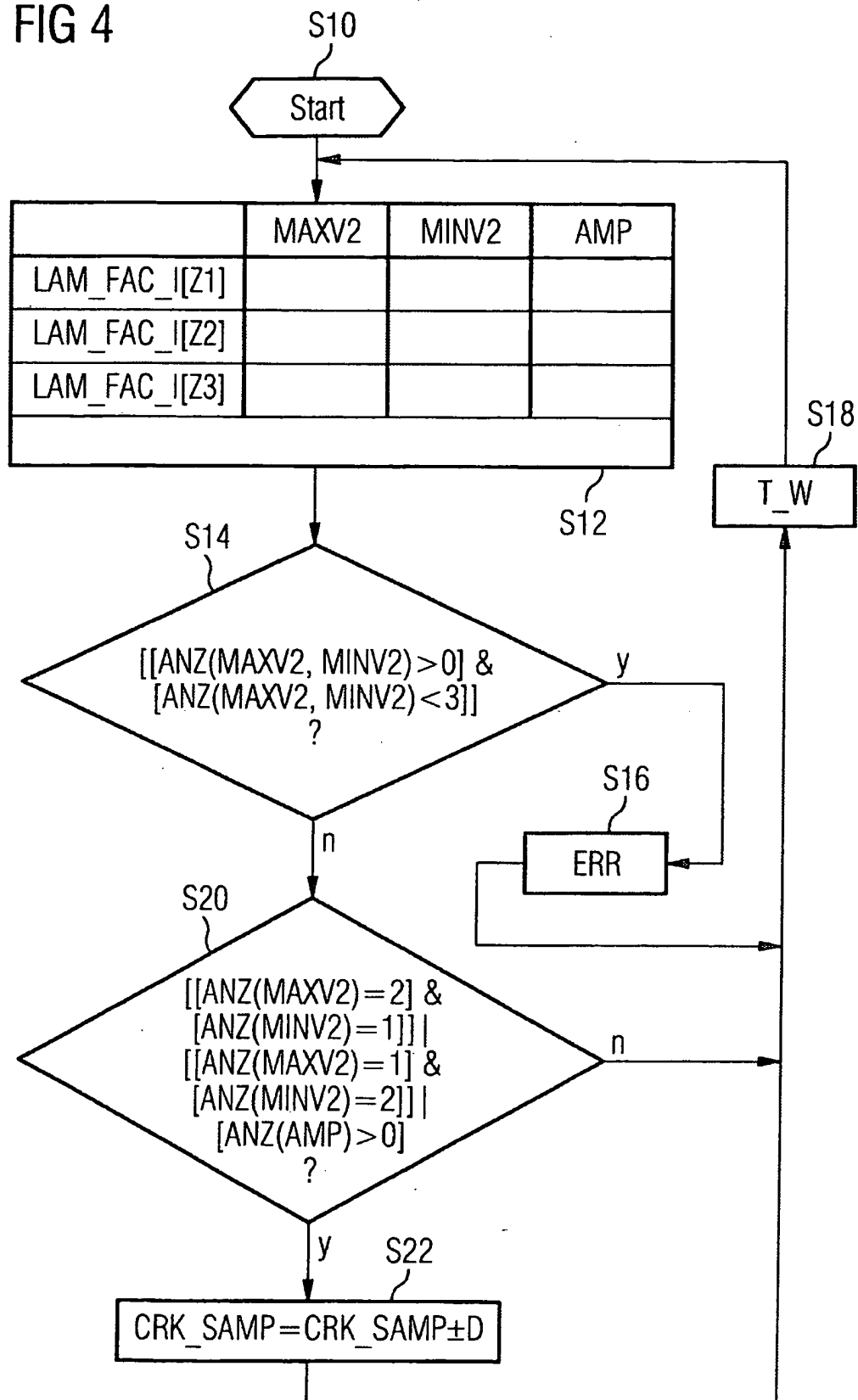


FIG 5

